

## СОВМЕЩЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

### COMBINED PROCESSES IN IRON AND STEEL INDUSTRY

Минаев А.А. член-корреспондент НАН Украины, доктор технических наук, профессор.

Коновалов Ю.В. доктор технических наук, профессор

Донецкий национальный технический университет, Украина, 83001, г. Донецк, ул. Артёма, 58,  
info@dgtu.donetsk.ua

#### Abstract

A presentation showing that combined metallurgical processes are one of the main trends in market conditions to ensure high-quality products and high production efficiency. Analysis of combined metallurgical processes on steel casting – production of rolled and cold-rolled sheet products is provided. As an example, a cold rolled sheet production shows a possible scheme of metallurgical enterprises of the future.

Keywords: combined process, foundry-rolling unit (FRU), metallurgy, rolled product, stand, rolling mill, wire-rod, profile, pickling, annealing, tempering.

#### Определение понятия «Совмещённый процесс»

Выполненный авторами статьи анализ показал, что основными признаками совмещённых процессов в металлургии являются:

- сохранение и использование высокой температуры металла, полученной от предшествующих переделов;

- объединение в единую последовательную цепочку технологических и организационных процессов в пределах одного вида производства;

- объединение нескольких процессов в одном комплексном агрегате.

Первый признак наиболее характерен для технологических процессов выплавки чугуна и производства стали. При использовании слиткового передела такой признак наличествовал и в системе «разливка стали – производство заготовки – прокат из неё листового или сортового проката». Наиболее характерный пример второго признака – объединение операций в цехах холодной прокатки листа (подробно этот вариант будет рассмотрен ниже). Классический пример наличия третьего

признака – применение литейно-прокатных агрегатов (ЛПА).

Оставляя в стороне совмещение процессов при наличии жидкого металла (доменное и сталеплавильное производства), а также не рассматривая слитковый передел, уделим основное внимание следующим двум направлениям

#### Разливка металла – горячая прокатка сортовой и листовой продукции

Идея совмещения процессов разливки и прокатки металла возникла в XIX веке, но практическая её реализация в промышленных условиях произошла лишь во второй половине прошлого века. Впервые в мировой практике в 1978 г. введён в промышленную эксплуатацию ЛПА для производства катанки из специальных сталей и сплавов на металлургическом заводе «Электросталь» (Россия). Создан ЛПА во ВНИИМЕТМаше и действует до сих пор. Схема расположения основного оборудования, размерные и температурные параметры по линии агрегата показаны на рис.1.

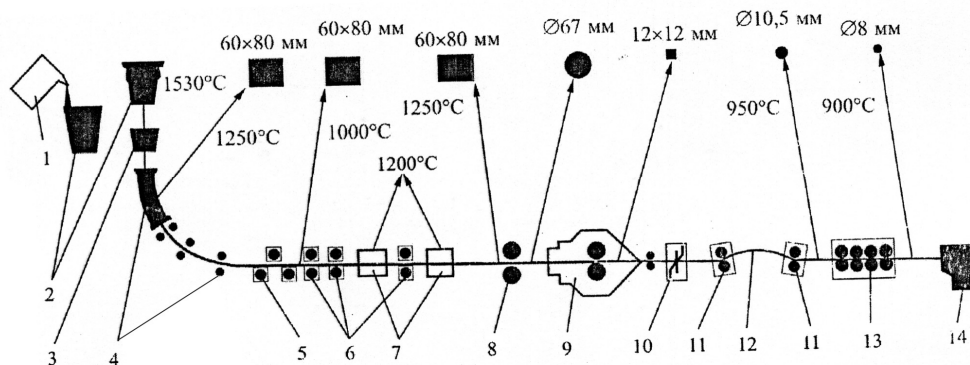


Рис.1. Схема расположения основного оборудования, температуры и сечения раската по технологической линии ЛПА [1]:

1 – индукционная плавильная печь; 2 – сталеразливочный ковш; 3 – промежуточный ковш; 4 – МНЛЗ; 5 – правильно-тянущее устройство; 6 – подающие ролики; 7 – индукционные подогреватели; 8 – обжимно-задающая клеть; 9 – планетарная клеть; 10 – летучие ножницы; 11 – прокатные клетки; 12 – автоматический петлерегулятор; 13 – четырехклетевой чистовой блок; 14 – моталка

Основной особенностью ЛПА является применение планетарной клетки, что позволило

непосредственно совместить МНЛЗ и прокатный

стан. Важно то, что в ЛПА получают готовый прокат – катанку диаметром 8-10,5 мм.

Применение совмещённого процесса позволило сократить технологический цикл в 100 раз, в 3 раза снизить расход энергии на подогрев металла, себестоимость продукции – на 20 % [1].

Долгое время описанный ЛПА был единственным в мире, в котором организовано прямое совмещение процессов разливки и прокатки. Лишь в 2000 г начал работать ЛПА в Италии, получивший название «Luna». Схема расположения основного оборудования этого агрегата хорошо известна.

Агрегат предназначен для производства круглых (диаметром 15-100 мм) и квадратных (со стороной 40-100 мм) профилей, поставляемых в прутках и бунтах, из углеродистых и легированных марок стали. Скорость литья заготовок сечением 200×160 мм, в зависимости от марки стали – 3,5-6,2 м/мин..

По сравнению с ЛПА, работающем на ОАО «Электросталь», ЛПА «Luna» имеет более широкий сортамент, но тоже только простых профилей (круглого и квадратного поперечных сечений).

Пока ЛПА для производства сортовой продукции в мире действует немного. Это связано с трудностями объединения МНЛЗ с мелко- и среднесортными станами из-за большой

зависимости производительности последних от прокатываемого профиля при мало изменяющейся производительности МНЛЗ.

К сортовым ЛПА следует отнести и агрегаты для производства рельсов, балок и других крупных профилей. Основой таких ЛПА стали разработки, направленные на создание технологий получения на МНЛЗ заготовок, по форме приближающихся к форме готового изделия.

Одним из наиболее крупных производителей ЛПА, на которых производят балки, швеллеры, рельсы и другие крупные профили, является фирма «SMS-Demag». На фирме введены такие обозначения технологий: СВР – Compact Beam Production (для производства балок); CRP – Compact Rail Production (для производства рельсов).

На рис.2 показаны схемы прокатки крупносортовых балок по технологии СВР и по традиционной технологии. При обычной технологии (см. рис.2 б) из МНЛЗ выходит заготовка прямоугольного сечения (сечение показано в кружке после МНЛЗ). При этом имеется возможность использовать, помимо горячего, холодный посад заготовок в нагревательную печь. Для объединения двух потоков металла, выходящих из двух ручьёв МНЛЗ, в один служит передаточное устройство.

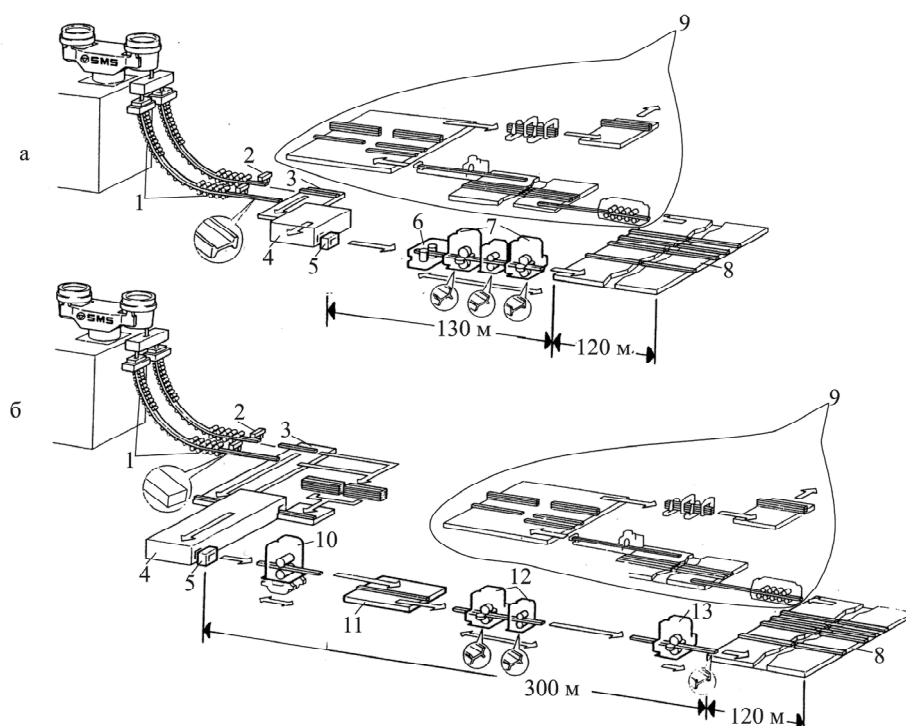


Рис.2. Схемы размещения основного оборудования технологических линий для производства балок по технологии СВР (а) и по традиционной технологии (б) [3]:  
1 – МНЛЗ; 2 – установки для порезки слябов; 3 – устройство совмещения двух потоков слябов в один; 4 – нагревательные печи; 5 – гидросбивы; 6 – черновая вертикальная клеть; 7 – реверсивная группа клетей; 8 – холодильники; 9 – адыюстажи; 10 – черновая реверсивная клеть; 11 – шлеппер; 12 – реверсивная двухклетевая группа; 13 – чистовая нереверсивная универсальная клеть

После подогрева горячих (с посадкой в печь слева) или нагрева холодных заготовок (с посадкой в печь справа) в методической печи прямоугольная заготовка за 5-7, а иногда и большее число проходов обжимается в черновой клети, приобретая балочный профиль. Далее раскат подвергается реверсивной прокатке в черновой линии, а последний неререверсивный проход выполняют в универсальной чистовой клети.

При технологии СВР (см. рис.2 а) отливают заготовку балочного профиля (см. профиль в кружке после МНЛЗ). Холодный посад отсутствует. Вместо черновой обжимной клети в схеме СВР используется небольших размеров клети с вертикальными валками. В реверсивной непрерывной группе имеется либо две (как показано на рис.2 б), либо три клети: две универсальных и одна горизонтальная промежуточная. В первом случае имеется чистовая отдельно стоящая клеть, во втором случае отдельно стоящей чистовой клети нет.

Схема СВР позволяет существенно снизить падение температуры металла по технологической линии, снизить массу оборудования, энергетические и материальные затраты, и в конечном счёте – капитальные и текущие затраты.

Обычно создание ЛПА для производства листовой продукции связывают с развитием мини-

заводов производительностью не более 1 млн.т/год. Такой уровень производительности не позволял использовать на них широкополосные станы горячей прокатки (ШСП), на которых рентабельным производство становится при объёме не менее 3 млн.т/год.

Решение было найдено в разработке совмещённого процесса разливки стали на МНЛЗ и прокатке непрерывнолитого слитка малой толщины (50-70 мм) в непрерывно расположенной группе клетей.

Первый в мире листовой ЛПА введён в эксплуатацию в США в 1989 г. Схема расположения основного оборудования ЛПА многократно публиковалась и хорошо известна.

Важным этапом в развитии ЛПА стало создание и введение в эксплуатацию фирмой «Schloemann-Siemag» (SMS) тонкослябового ЛПА на заводе фирмы «Thyssen Krupp» в Германии. Принципиально новым является то, что ЛПА установлен не на мини-заводе, а на крупном интегрированном предприятии в привязке к мощному кислородно-конвертерному цеху при ёмкости разливочного ковша 400 т. Схема расположения основного оборудования ЛПА показана на рис.3.

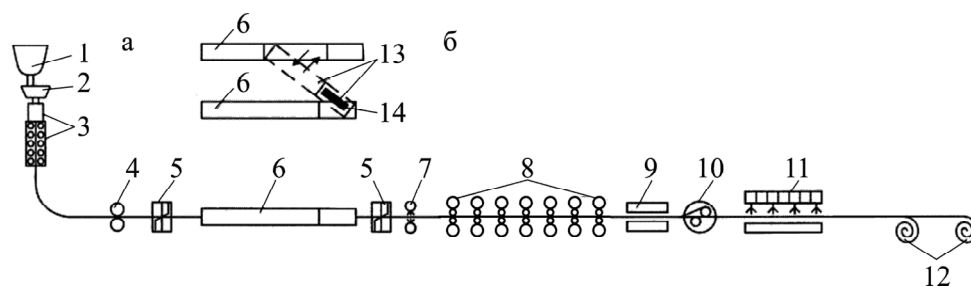


Рис.3. Схема расположения основного оборудования ЛПА, действующего на заводе фирмы «Thyssen Krupp Stahl AG»:

а — общая схема ЛПА; б — участок печей с поворотным устройством;

1 — разливочный ковш; 2 — промежуточный ковш; 3 — МНЛЗ; 4 — тянущие ролики; 5 — ножницы; 6 — проходная роликовая печь; 7 — гидросбив окислы; 8 — непрерывная группа клетей кварто; 9 — установка быстрого охлаждения полосы; 10 — карусельная моталка; 11 — ламинарная установка охлаждения полосы; 12 — подпольные моталки; 13 — поворотное печное устройство; 14 — раскат

Опыт эксплуатации описанного ЛПА показал, что тонкослябовые ЛПА можно применять не только на мини-заводах, а и на интегрированных комбинатах.

Впервые на территории стран СНГ в 2008 г. введён в действие ЛПА фирмы «Danieli» на Выксунском металлургическом заводе. Он предназначен для прокатки полос толщиной 1-12,7 мм и шириной 800-1800 мм. Схема расположения основного оборудования ЛПА приведена на рис.4.

На МНЛЗ отливают слябы толщиной 110/90 мм, «мягким» дожатием доводят их до толщины 90/70 мм, шириной 800-1800 мм. Продукция ЛПА используется для изготовления электросварных труб.

Впервые термин «толстослябовый ЛПА» прозвучал в докладе ученых ДонНТУ на Международной конференции «Черная металлургия России и стран СНГ в XXI веке», состоявшейся в Москве в 1994 г. Такой ЛПА был предложен в качестве агрегата для производства подката для цеха жести в составе комплекса на ОАО «Енакиевский металлургический завод» (ЕМЗ).

Схема расположения основного оборудования разработанного ЛПА показана на рис.5.

В ЛПА применена МНЛЗ традиционной конструкции с кристаллизатором с параллельными стенками. Размеры отливаемых слябов  $H_{сл} = 200$  мм;  $B_{сл} = 900-1350$  мм, длина до 12 м, масса до 25 т. При двухручьевой МНЛЗ годовая производительность ЛПА — 1,7 млн.т (скорость разлики стали до 1,5 м/мин).

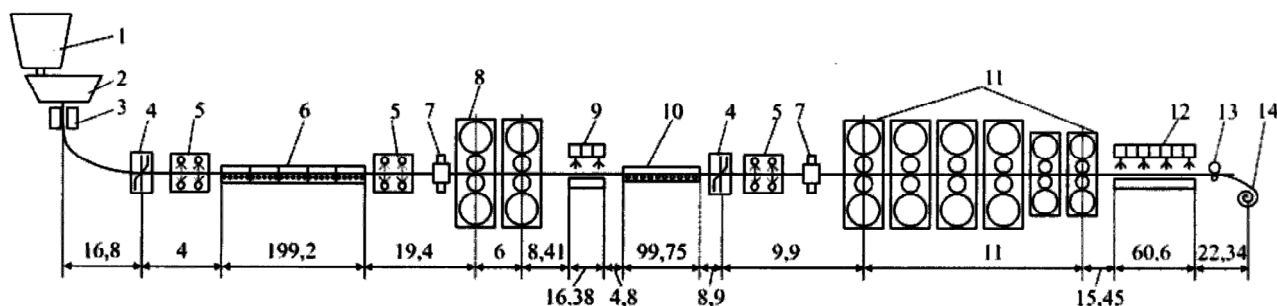


Рис.4. Схема расположения основного оборудования ЛПА фирмы «Danieli», действующего на ОАО «Выксунский металлургический завод» (Россия):

1 – разливочный ковш; 2 – промежуточный ковш; 3 – кристаллизатор; 4 – маятниковые ножницы; 5 – гидросбив; 6 – нагревательная туннельная печь; 7 – эджер; 8 – черновые клети; 9 – установка для промежуточного охлаждения; 10 – теплоизолированный рольганг; 11 – чистовая непрерывная группа клетей; 12 – установка ускоренного охлаждения; 13 – задающие ролики; 14 – моталка

МНЛЗ расположена вблизи методической нагревательной печи с шагающими балками с торцевой (для холодных и теплых слябов) и боковой (для горячих слябов) посадкой и торцевой выдачей. Для обеспечения температуры посадки слябов в печь 1050-1100°C предусмотрена теплоизоляция. Горячий посад предусмотрен в

объеме до 95-97% от общего посада.

В качестве прокатного стана принят полунепрерывный ПСГП. Стан состоит из черновой универсальной реверсивной клети, в которой производят подкат ( $h_n = 50-70$  мм), и семиклетевой чистовой группы клетей.

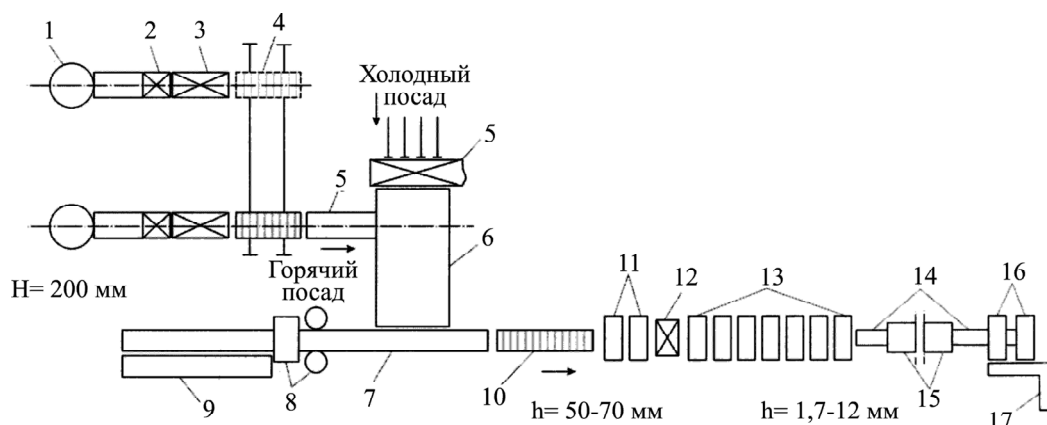


Рис.5.Схема размещения основного оборудования толстослябового ЛПА, разработанного в ДонНТУ:

1 – МНЛЗ; 2 – машина газовой резки; 3 – рольганг-термостатирующие устройства; 4 – передаточная рольганг-тележка; 5 – загрузочный рольганг с теплоизолирующей крышкой; 6 – методическая печь с шагающими балками; 7 – приемно-промежуточный рольганг; 8 – универсальная черновая реверсивная клеть; 9 – участок разделки недокатов; 10 – проходная печь-термостат; 11 – окалиноломатель, совмещенный с гидросбивом; 12 – летучие ножницы; 13 – клети чистовой группы; 14 – отводящий рольганг; 15 – душирующая установка; 16 – моталки; 17 – уборочная группа

Перед чистовой группой клетей имеется проходная печь-термостат, позволяющая отказаться от ускорения чистовой группы клетей. Толщина полос после чистовой группы клетей 1,7-12 мм, ширина 800-1350 мм.

*Достоинства толстослябового ЛПА:* возможность отсортировки, последующего ремонта и холодного посада слябов, имеющих после МНЛЗ дефекты; увеличение времени задержки слябов в печи (без остановки МНЛЗ) до 24-30 мин; возможность редуцирования слябов по ширине вплоть до её изменения на 200 мм и «проработка» боковых граней слябов, что предотвращает

возникновение дефекта «рваная кромка».

Идея использования методической нагревательной печи с шагающими балками, впервые предложенная ДонНТУ, нашла применение в среднеслябовых ЛПА, а также в ЛПА, которые успешно работают для прокатки крупных фасонных и простых профилей.

Подводя итог опыту разработки и реализации листовых ЛПА, следует отметить, что пока лидируют тонкослябовые ЛПА с непрерывной группой клетей. Качество горячекатаных полос с тонкослябовых ЛПА по механическим свойствам не хуже, а в ряде случаев и лучше, чем полос,

прокатанных на ШСГП; во-вторых, в ЛПА можно производить продукцию практически из любых марок стали; в-третьих, на ЛПА возможно устойчиво прокатывать полосы толщиной 0,8-1 мм, а в будущем – и 0,7 мм.

В целом же применение ЛПА для производства сортового и листового проката позволяет обеспечить по сравнению с традиционными технологиями: короткие сроки строительства; снижение на 20-50 % капитальные и на 40-50 % энерго-, материальные и трудовые затраты; резкое сокращение сроков выполнения заказов; расширение сортамент проката.

Дальнейшим развитием ЛПА следует считать создание агрегатов с валковой разливкой – ВЛПА. В отличие от обычных непрерывной

разливки и прокатки, при валковой разливке имеют место два совмещённых процесса: кристаллизация расплава и пластическая деформация сначала закристаллизовавшейся части, а потом и всей массы металла. Скорость отливки полосы обеспечивает возможность совмещения ВЛПА с дальнейшей прокаткой в традиционной клети.

Для исследований процесса и создания опытно-промышленных установок ВЛПА были организованы объединения фирм и начата разработка проектов «Eurostrip» и «Castrip». Участниками проекта «Eurostrip» стали фирмы Германии, Франции, Италии и Австрии. Схема созданного по проекту «Eurostrip» ВЛПА показана на рис.6 а. Участниками разработки технологии «Castrip» были фирмы Японии, Австралии и США (рис.6 б).

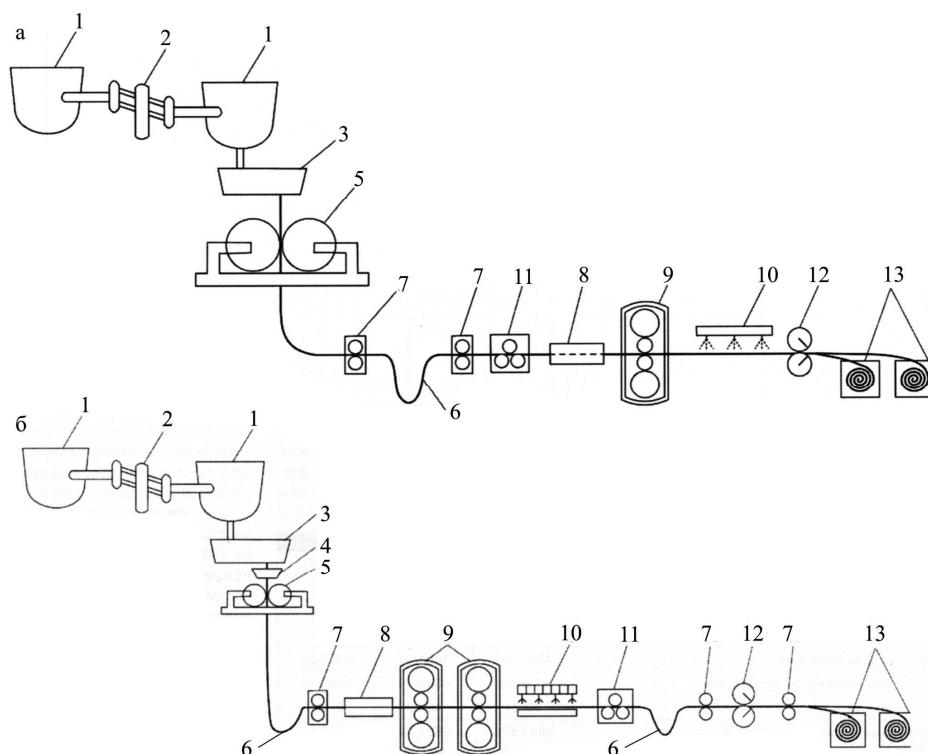


Рис.6. Схемы ВЛПА [4, 5]:

а – технология «Eurostrip» (г.Крефельд, Германия);

б – технология «Castrip» (г.Крофордсвилл, США);

- 1 – разливочные ковши; 2 – поворотные стелы; 3 – промежуточные ковши; 4 – малый промежуточный ковш; 5 – литейно-прокатные машины; 6 – петленакопители; 7 – тянущие ролики; 8 – индукционные подогреватели; 9 – прокатные клети; 10 – установки ламинарного охлаждения; 11 – правильно-тянущие устройства; 12 – ножницы; 13 – моталки

Основное отличие «Castrip» от «Eurostrip» в диаметре разливочных валков – всего 500 мм против 1500 мм у «Eurostrip» при существенно большей ширине полосы.

В ВЛПА производят полосы из низкоуглеродистой кремниймарганцовистой, нержавеющей стали, а также из сталей, микролегированных ниобием и ванадием. Разработчики проекта «Castrip» считают, что двухвалковые установки становятся

рентабельными уже при годовом объеме производства 300-400 тыс.т.

ВЛПА, работающие в промышленности, позволяют получать полосы толщиной 0,5-3 мм, шириной до 2000 мм.

В таблице дано сравнение технико-экономических показателей производства горячекатаных полос в комплексах «непрерывная разливка – прокатка».

Таблица 1

Технико-экономические показатели производства горячекатаных полос  
в комплексах, использующих заготовки разной толщины [6]

Показатель	Значение показателя для различных типов агрегатов		
	ШСГП	ЛПА	ВЛПА
Сечение сляба (заготовки), мм	250×1550	50×1350	1,6×1350
Скорость литья, м/мин	0,9-2,2	6	80
Время кристаллизации, с	1070	45	0,15
Производительность, млн.т/год	2-4	1-2	0,5
Протяженность (длина) агрегата, м	500-800	300-400	60-150
Занимаемая площадь, тыс.м <sup>2</sup>	105	18	8
Коэффициент расхода жидкой стали, т/т листа	1,14-1,22	1,13	1,01
Удельные трудозатраты, чел.ч/т	4-12	1-2	0,5-1
Энергозатраты, ГДж/т продукции	0,8-1,8*	0,4	0,2
Начальные капиталовложения, млн. долл. США	>1000	800	140

Из таблицы видны преимущества тонкослябовых ЛПА перед комплексом МНЛЗ-ШСГП и ещё большие преимущества перед ними ВЛПА.

Преимущества ВЛПА: снижение капитальных затрат на 77 % по сравнению с традиционной технологией и на 68 % по сравнению с тонкослябовым ЛПА; снижение удельных капиталовложений соответственно на 45 и 35 %; производственные площади (включая инфраструктуру) составляют 15 % от площадей, требуемых для традиционной схемы и 40 % по сравнению с тонкослябовыми ЛПА; на производство готовой полосы необходимо несколько минут; расход энергии меньше на 1400 МДж/т по сравнению с традиционной технологией и вдвое меньше по сравнению с тонкослябовыми ЛПА; выделение в атмосферу SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> снижается на 70-90 %.

Новая технология имеет и недостатки, заключающиеся в следующем: остаётся проблематичной отливка полос из

среднеуглеродистых марок стали; ширина отливаемых полос не регулируется и колеблется по длине; недостаточна стойкость валков кристаллизаторов; требуется специальное оборудование и средства для защиты поверхности ванны металла (применение водорода, аргона и т.п.).

#### Производство полосовой и листовой продукции в цехах холодной прокатки

Процесс холодной прокатки полос прошёл путь от полистной, рулонной, бесконечной прокатки до совмещения процессов – травления, прокатки, очистки, непрерывного отжига, разделки и упаковки. Совмещение процессов травления и прокатки произошло в начале 90-х годов прошлого века.

На совмещенном агрегате (рис.7) головная часть НТА традиционная. Изменение направления движения полосы происходит только в петлевых накопителях. НСХП пятиклетевой.

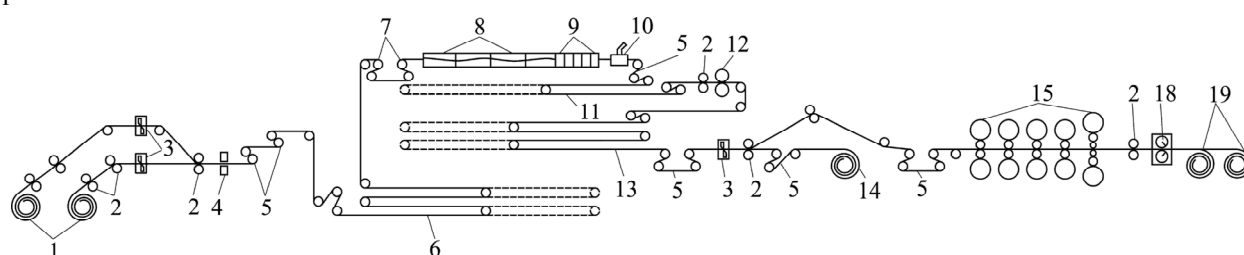


Рис.7. Схема расположения основного оборудования комплекса совмещенных НТА и НСХП на заводе фирмы «Bethlehem Steel Corporation»:

- 1 – размотыватели; 2 – тянущие ролики; 3 – ножницы поперечной резки; 4 – стыковочная машина; 5 – натяжные станции; 6 – входной накопитель; 7 – устройство правки полос растяжением; 8 – травильные ванны; 9 – ванны промывки; 10 – сушильное устройство; 11 – промежуточный накопитель; 12 – кромкообрезные ножницы; 13 – выходной накопитель; 14 – моталка горячекатаных травленых полос; 15 – НСХП; 18 – летучие ножницы; 19 – моталки холоднокатаных полос

Применение объединенных комплексов НТА+НСХП позволяет достичь: повышения производительности на 20-50 %; снижения обрези на концах полос и брака по дефектам, возникающим при заправке и выходе полосы из

валков НСХП с 1,4 % до 0,45 %; уменьшения числа перевалок и перешлифовок валков на 45 %, а следовательно, и парка валков; снижения численности обслуживающего персонала на участке травления и прокатки на 30-50 %;

уменьшения расходов на ремонты на 25 %; сокращения длительности цикла производства продукции до двух суток; уменьшения площадей, занимаемых цехом, за счет промежуточных складов, которые необходимы для хранения протравленных рулонов, снижается число крановых операций по снятию травленных рулонов с НТА, транспортировке их на склад и со склада к ЦХП; устраняется трудоемкая операция заправки полосы в стан.

Для снятия упрочнения, вызванного наклепом металла при холодной прокатке, и получения требуемых механических и технологических свойств холоднокатаные полосы подвергают *светлому отжигу* либо в одностопных колпаковых печах, либо в агрегатах непрерывного действия. Основными недостатками технологии отжига холоднокатаного металла в колпаковых печах продолжают оставаться значительная длительность термической обработки и большие площади, занимаемые участком колпаковых печей, а также неравномерность нагрева рулонов. Отжиг холоднокатаных полос в агрегатах непрерывного отжига стал кардинальным шагом в направлении совершенствования как технологии термообработки рулонов, так и совмещения ряда процессов.

В АНО производят очистку и сушку поверхности полос, её термообработку, травление, дрессировку, промасливание и смотку полосы. В случаях отгрузки продукции без нанесения защитных покрытий в АНО предусматривает разделку и упаковку полос и рулонов.

Таким образом, в цехах холодной прокатки совмещенные процессы применяют достаточно широко.

### Металлургическое предприятие будущего

На основе выполненного и представленного в настоящей статье анализа, а также работы [7] и материалов по бездоменному производству первичного металла из руд, представленных в работе [8], предложена схема металлургического предприятия будущего, специализированного на производство горячекатаного и холоднокатаного листового проката (рис.8).

Традиционная технологическая схема интегрированного металлургического предприятия, родившаяся в XIX веке, представляет собой цепочку следующих друг за другом технологических операций, раздвинутых во времени: подготовка сырых материалов, производство чугуна, выплавка и разливка стали, производство проката. Эта традиционная схема в привязке к производству листовой продукции изображена на рис.8 а.

Применённые в схеме, представленной на рис.8 б, процессы «Midrex» и «Cogex» позволяют исключить проблему использования высококачественного кокса в доменном производстве, хотя возможно и сохранение доменного процесса при интенсивном использовании пылеугольного топлива. В качестве основных сталеплавильных агрегатов сохраняются конвертерный и электросталеплавильный процессы с обязательной внепечной обработкой стали.

Непрерывная разливка и горячая прокатка полос заменяются ВЛПА для получения как готовых горячекатаных полос и листов, так и подката для НСХП. Это в настоящее время наиболее проблемная позиция.

Холоднокатаный передел наиболее подготовлен для схемы рис.8 б.

Основными преимуществами новой схемы металлургического предприятия будущего по сравнению с традиционной технологией являются: резкое сокращение энергозатрат и материальных ресурсов, уменьшение массы оборудования, площадей, трудозатрат, сокращение цикла производства; улучшение экологии, а следовательно, и очень серьёзное сокращение капитальных и текущих затрат.

На обеих схемах отсутствуют операции по нанесению на полосу защитных покрытий. Агрегаты, на которых производится нанесение защитных покрытий, достаточно сложны, многооперационны, в зависимости от вида наносимых покрытий они имеют разные элементы. Вряд ли их удастся включить в общую технологическую схему.

### ВЫВОДЫ

К настоящему времени металлурги уже прошли долгий путь, основными этапами которого были: замена слиткового передела непрерывной разливкой стали, переход на выплавку стали в кислородных конвертерах или дуговых печах вместо мартеновского производства, перенос значительной части операций по доводке стали из сталеплавильных агрегатов в ковш, совмещение непрерывной разливки и прокатки металла в литейно-прокатных агрегатах различного вида, предназначенных для производства как листовой, так и сортовой продукции. В цехах холодной прокатки полос и листов совмещены операции травления-прокатки; прокатки-очистки поверхности; очистки поверхности-отжига-дрессировки, разделки и упаковки продукции.

Решение задачи, схематически изображённой на рис.8, в руках нового поколения металлургов, и есть надежда, что они с ней справятся.

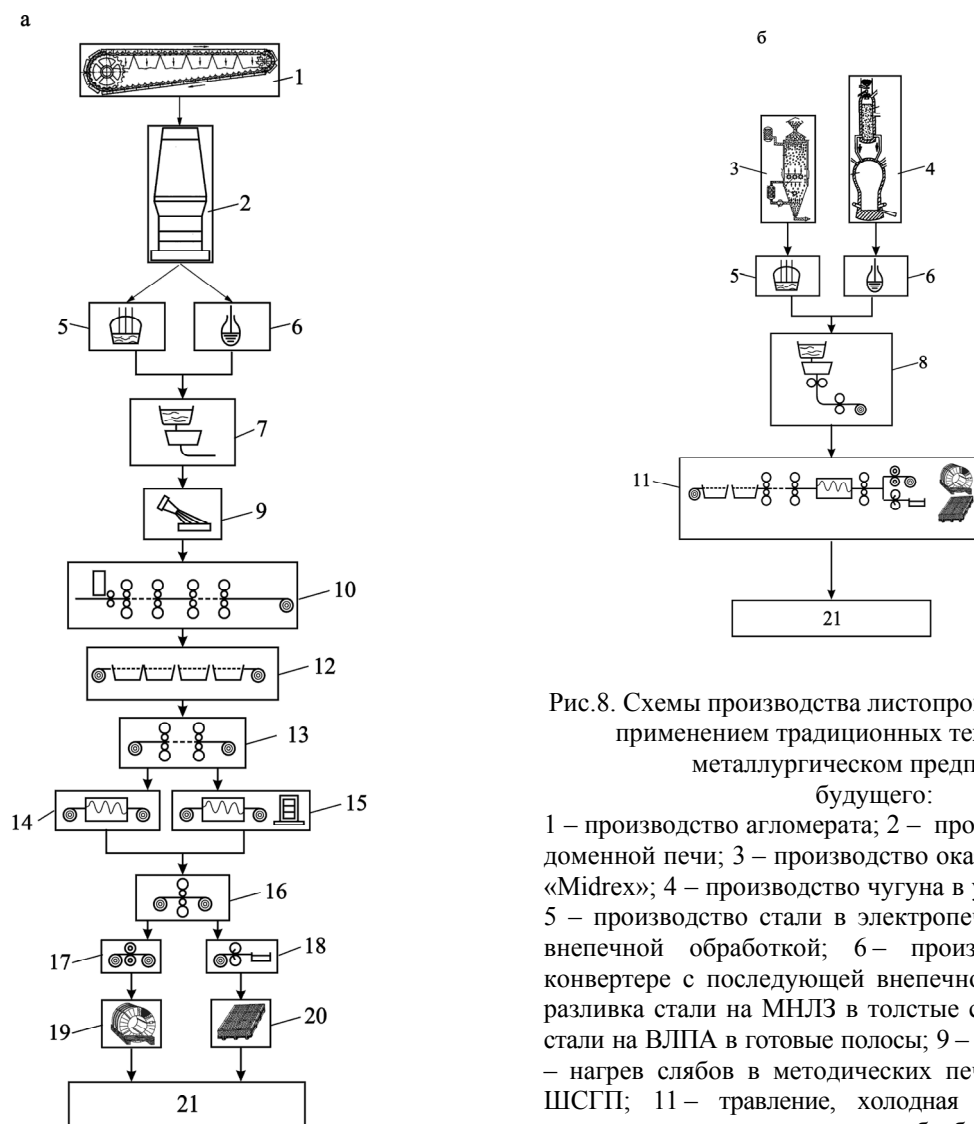


Рис.8. Схемы производства листопрокатной продукции с применением традиционных технологий и на металлургическом предприятии будущего:

1 – производство агломерата; 2 – производство чугуна в доменной печи; 3 – производство окатышей в установке «Midrex»; 4 – производство чугуна в установке «Corus»; 5 – производство стали в электропечи с последующей выпечкой; 6 – производство стали в конвертере с последующей выпечкой; 7 – разливка стали на МНЛЗ в толстые слябы; 8 – разливка стали на ВЛПА в готовые полосы; 9 – зачистка слябов; 10 – нагрев слябов в методических печах и прокатка на ШСГП; 11 – травление, холодная прокатка, очистка поверхности полос и термообработка их в АНО, дрессировка, продольная и поперечная разделка полос на узкие полосы, ленту и листы, упаковка продукции; 12 – травление подката в НТА; 13 – холодная прокатка полос на НСХП; 14 – отжиг холоднокатаных полос в АНО; 15 – очистка поверхности холоднокатаных полос и отжиг рулонов в колпаковых печах; 16 – дрессировка; 17 – разделка холоднокатаных полос на узкие полосы; 18 – разделка на листы; 19 – упаковка рулонов; 20 – упаковка пачек листов; 21 – отгрузка готовой продукции

дрессировка, продольная и поперечная разделка полос на узкие полосы, ленту и листы, упаковка продукции; 12 – травление подката в НТА; 13 – холодная прокатка полос на НСХП; 14 – отжиг холоднокатаных полос в АНО; 15 – очистка поверхности холоднокатаных полос и отжиг рулонов в колпаковых печах; 16 – дрессировка; 17 – разделка холоднокатаных полос на узкие полосы; 18 – разделка на листы; 19 – упаковка рулонов; 20 – упаковка пачек листов; 21 – отгрузка готовой продукции

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вердеревский В.А. Литейно-прокатный агрегат для производства катанки / В.А. Вердеревский, В.П.Степанов, Г.С.Никитин, О.К.Храпченко // Сталь, 1995. - №2. - С.37-41.
2. Альзетта Ф. Мини-завод «Lupa» для литья и бесконечной прокатки сорта из специальных сталей / Ф. Альзетта, Д.Андреатта, М.Тонидандел, В.-Д.Руза // МРТ, 2001. - С.60-72.
3. Энгель Г. Новые разработки в области разлива черновых профилей почти с размерами конечной продукции и непосредственная связь рельсобалочных прокатных линий с установками разлива / Г.Энгель, Г.Мойер, У.Шультц // МРТ, 1993. - С.104-106.
4. Вальтер М. EUROSTRIP – способ литья полосы на заводе фирмы «Krupp Thyssen Nirosta GMBH» / М.Вальтер, В.Манкау, Х.-Ю.Фиггс и др. // Чёрные металлы, 2001, Октябрь. - С.55-59.

5. Edelman D.G. Recent Developments With Ultrathin Cast Strip Products Produced by the Castrip Process / D.G.Edelman, P.C.Campbell, C.R.Killmore et al. // Iron and Steel Technology, 2009. - №10. - P.47-58.
6. Матвеев Б.Н. Непрерывная разливка полос на микрозаводах с применением валковых кристаллизаторов / Б.Н. Матвеев // Производство проката, 2004. - № 4. - С.33-41.
7. Lindenberg H-U. Strip Casting-innovation of plant steel in new millennium / H-U. Lindenberg, M. Walter, G. Stenber et al // Forum Thissenkrupp, 2000. - № 2. - P.20-27.
8. Коновалов Ю.В. Металлургия: Учебное пособие в 3 кн. К.1. Производство чугуна, железа, стали и ферросплавов / Ю.В.Коновалов, А.А.Троянский, С.Н.Тимошенко. - Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2011. - 431 с.